

Analisa Sebaran Fosfat dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* : Studi Kasus Saronggi, Madura

Faza Nabeel, Dwa Desa Warnana, dan Ayi Syaeful Bahri
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: syaeful_b@physics.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan penelitian tentang batuan fosfat, yang bertujuan untuk menentukan sebaran serta kualitas batuan fosfat (kadar P_2O_5) di lokasi penelitian yaitu di daerah kecamatan Saronggi kabupaten Sumenep Madura. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger* pada proses pengambilan data lapangan. Pemodelan dan inversi data lapangan dilakukan dengan menggunakan *software Res2Dinv*. Nilai resistivitas yang terukur dibandingkan dengan hasil pengukuran nilai resistivitas skala laboratorium pada sampel batuan fosfat yang diambil dari lokasi penelitian menggunakan LCR meter. Sedangkan uji kimiawi dilakukan untuk mengetahui kandungan P_2O_5 pada batuan fosfat yang telah terukur nilai resistivitasnya. Berdasarkan pada hasil pengukuran di laboratorium, didapatkan nilai resistivitas batuan fosfat sebesar 96 Ωm hingga 353 Ωm . Hasil ini nantinya dijadikan sebagai acuan dalam menentukan letak sebaran fosfat pada kontur resistivitas hasil inversi menggunakan *Res2Dinv*. Kemudian setelah dilakukan uji kimiawi, didapatkan kadar P_2O_5 sebesar 12,30% hingga 15%. Jadi, batuan fosfat di daerah penelitian dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk *Super Phosphate* jenis *Single Super Phosphate*.

Kata Kunci—konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, resistivitas, fosfat, kadar P_2O_5 , Saronggi Sumenep.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan pupuk di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya. Kelangkaan pupuk seringkali mengganggu kebutuhan dasar para petani di Indonesia, sehingga dampaknya harga pupuk melonjak di pasaran. Permintaan pupuk jenis TSP, ZA dan SP-36 sejak tahun 2003 tidak dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri, sehingga kekurangan pasokan jenis pupuk ini dipenuhi melalui impor. Bahan baku pupuk jenis TSP, SP-36 dan NPK adalah fosfat. Unsur fosfat (P) adalah salah satu nutrisi utama yang sangat penting bagi tanaman di samping Nitrogen (N) dan Kalium (K). Peranan fosfat yang terpenting adalah memacu pertumbuhan akar dan pembentukan sistem perakaran serta memacu pertumbuhan generatif tanaman [1].

Umumnya deposit fosfat alam ditemukan di daerah-daerah yang banyak mengandung kapur. Namun fosfat alam di Indonesia umumnya mempunyai kandungan P yang rendah, sebagian besar kelas D atau E. Artinya kandungannya dibawah

20% dan jumlahnya hanya cocok untuk penambangan kecil. Berdasarkan hasil Survei Explorasi tahun 1968-1985 oleh Direktorat Geologi dan Mineral, Departemen Pertambangan telah ditemukan cadangan fosfat alam yang diperkirakan sebesar 895 ribu t yang tersebar di Pulau Jawa (66%), Sumatera Barat (17%), Kalimantan (8%), Sulawesi (5%), dan sekitar 4% tersebar di Papua, Aceh, Sumatera Utara, dan Nusa Tenggara. Perkiraan cadangan deposit fosfat alam terbesar terdapat di Jawa Timur yaitu di daerah Tuban, Lamongan, Gresik, dan Madura sekitar 313 ribu ton [2].

Dengan mengacu pada kondisi diatas, Oleh karena itu perlu dilakukan suatu studi geofisika agar dapat diketahui sebaran serta potensi fosfat di Jawa Timur, khususnya di daerah Saronggi kabupaten Sumenep Madura. Pada penelitian ini menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi elektroda *Wenner-Schlumberger*. Survei geolistrik dapat digunakan untuk menentukan secara tidak langsung keberadaan dan posisi serta dimensi material geologi di bawah permukaan, kedalaman, ketebalan serta evaluasi endapan. Penelitian ini merupakan survei awal sebagai penunjang dilakukannya eksploitasi lebih lanjut terhadap batuan fosfat.

A. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah interpretasi sebaran fosfat pada lokasi penelitian yaitu di daerah Saronggi, Sumenep, Madura. Kemudian dalam proses akuisisi data lapangan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Pada proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Res2Dinv* untuk interpretasi persebaran fosfat daerah penelitian. Serta untuk pengukuran nilai resistivitas di laboratorium menggunakan alat LCR meter.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk sebagai identifikasi struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode geolistrik yang memanfaatkan sifat tahanan jenis, mempelajari nilai tahanan jenis batuan daerah penelitian terutama batuan fosfat dalam skala laboratorium dan lapangan, menentukan persebaran fosfat di daerah penelitian serta menentukan kadar kandungan P_2O_5 .

II. DASAR TEORI

A. Fosfat

Fosfat adalah unsur dalam suatu batuan beku (apatit) atau sedimen dengan kandungan fosfor ekonomis. Biasanya, kandungan fosfor dinyatakan sebagai *bone phosphate of lime* (BPL) atau *triphosphate of lime* (TPL), atau berdasarkan kandungan P_2O_5 . Fosfat apatit termasuk fosfat primer karena gugusan oksida fosfatnya terdapat dalam mineral apatit ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) yang terbentuk selama proses pembekuan magma.

Fosfat merupakan satu-satunya bahan galian (diluar air) yang mempunyai siklus, unsur fosfor di alam diserap oleh makhluk hidup, senyawa fosfat pada jaringan makhluk hidup yang telah mati terurai, kemudian terakumulasi dan terendapkan di lautan. Proses terbentuknya endapan fosfat ada tiga, yaitu [3]:

1. Fosfat primer, terbentuk dari pembekuan magma alkalin pada intrusi hidrotermal yang terkadang berasosiasi dengan batuan beku alkalin yang mengandung mineral fosfat apatit. Terutama *fluor* apatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$ dalam keadaan murni mengandung 42 % P_2O_5 dan 3,8 % F_2 .
2. Fosfat sedimen, merupakan endapan fosfat sedimen yang terendapkan di laut dalam. Endapan laut terbentuk dari hasil penguraian berbagai kehidupan yang ada di laut, atau akibat erosi mineral-mineral yang mengandung fosfat oleh aliran sungai yang kemudian dibawa kelaut dan masuk ke dalam urat-urat batu gamping. Akibat adanya peristiwa geologi, endapan akan terangkat dan membentuk daratan.
3. Fosfat guano, merupakan hasil akumulasi sekresi hewan-hewan darat, burung pemakan ikan dan kelelawar yang terlarut dan bereaksi dengan batu gamping karena pengaruh air hujan dan air tanah [3].

B. Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan merupakan suatu materi yang mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat listrik ini merupakan karakteristik dari batuan tersebut yang besarnya sangat bergantung dari media pembentuk batuan tersebut. Sifat listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri yang akan muncul jika terjadi gangguan kesetimbangan atau dengan sengaja dimasukkan arus listrik ke dalam batuan sehingga terjadi ketidakseimbangan muatan di dalamnya [4].

C. Teori Potensial Listrik

Hukum yang dapat menjelaskan mengenai hambatan adalah hukum Ohm. Hambatan listrik material biasanya dinyatakan dengan tahanan jenis atau resistivitas. Untuk selanjutnya digunakan istilah resistivitas untuk tahanan jenis. Jika suatu material mempunyai hambatan (R) dengan panjang (l) dan luas (A), maka harga resistivitas (ρ) dirumuskan ;

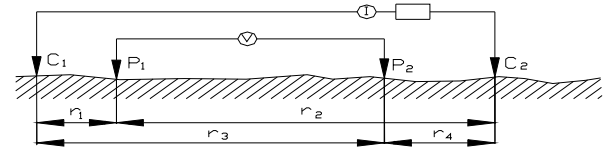
$$\rho = RA/l \text{ atau } R = \rho l / A \quad (1)$$

ρ dinyatakan dalam ohm meter (Ωm), R dalam ohm (Ω), l dalam meter dan A dalam meter persegi (m^2).

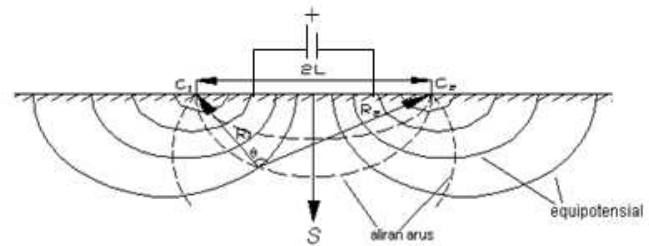
D. Elektroda Arus Pada Medium Homogen

Pada prakteknya arus listrik dimasukkan melalui elektroda C_1 dan C_2 . sedangkan beda potensial diukur dengan elektroda

potensial P_1 dan P_2 yang terletak antara C_1 dan C_2 (Gambar1). Susunan elektroda arus ganda di permukaan medium homogen ditunjukkan dalam gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Susunan elektroda ganda di permukaan untuk model medium homogen.



Gambar 2. Distribusi potensial dan aliran arus oleh sumber arus ganda di permukaan

Sehingga beda potensial pada P_1 akibat arus yang diinjeksikan pada C_1 dan C_2 didapatkan persamaan sebagai berikut ;

$$V_{P1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

dan beda potensial di P_2 dirumuskan sebagai berikut ;

$$V_{P2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (3)$$

sehingga bisa kita dapatkan beda potensial antara P_1 dan P_2 dari persamaan (2) dan (3) sebagai berikut ;

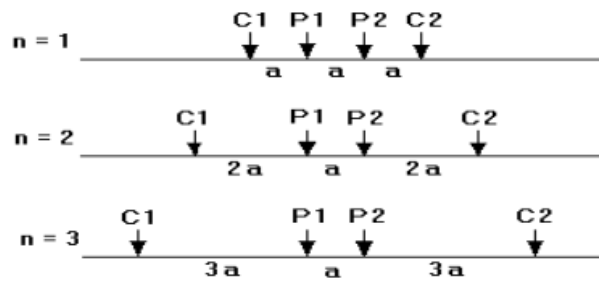
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

atau dapat ditulis $\rho = K\Delta V / I$

$$\text{dimana } K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (4)$$

K adalah faktor geometri yang besarnya sangat tergantung dari jarak antar elektroda yang digunakan dalam pengolahan data. Gambar 2 adalah ilustrasi penjalaran arus oleh dua elektroda arus dalam media homogen dengan titik sounding berada di tengah elektroda arus.

Pada gambar 2 di atas, garis aliran arus dan bidang equipotensial pada C_1 terdistorsi akibat adanya penjalaran arus pada C_2 . Dalam medium yang homogen isotropis, besar potensial adalah konstan dan simetris terhadap elektroda. Akibat pengaruh arus pada elektroda C_2 , maka bidang equipotensial yang terbentuk akan semakin berbentuk tidak setengah bola silinder. Jika jarak antar elektroda C_1 dan C_2 diperbesar, maka equipotensial bernilai lebih kecil dari setengah permukaan bola silinder.



Gambar 3. Pengukuran Resistivitas 2D dengan Konfigurasi Elektroda *Wenner-Schlumberger*.



Gambar 4. Peta Geologi Sumenep (Situmorang, 1992). Qa merupakan daerah endapan alluvium, Qpp daerah formasi Pamekasan, Tpm daerah formasi Madura, Tmp daerah formasi Pasean, Tmb daerah formasi Bulu, Tmn daerah formasi Ngrayong dan Tmt merupakan daerah Formasi Tawun.

Bila mediumnya tidak homogen isotropi, maka resistivitasnya disebut resistivitas semu. Dengan menggunakan susunan elektroda tertentu maka harga K (persamaan 4) dapat diketahui. Sehingga beda potensial dan arus yang dialirkan dapat diukur. Dengan demikian resistivitas semu dapat dihitung.

E. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

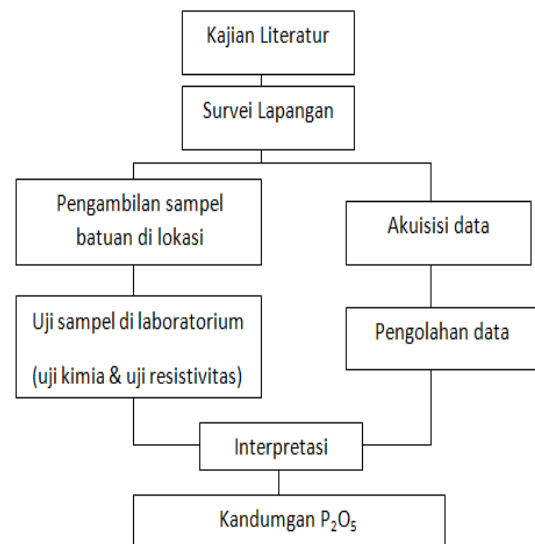
Konfigurasi ini merupakan gabungan antara konfigurasi *Wenner* dan konfigurasi *Schlumberger*. Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* mempunyai penetrasi maksimum kedalaman 15% lebih baik dari konfigurasi *Wenner*.

Faktor geometri dari konfigurasi elektroda *Wenner-Schlumberger* adalah :

$$K = n(n+1)\pi a \quad (5)$$

Dimana a adalah jarak antara elektroda P1 dan P2, serta r adalah perbandingan antara jarak elektroda C1 – P1 dengan P1 – P2. Nilai resistivitas semu dirumuskan :

$$\rho = K.R \quad (6)$$



Gambar 5. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Berdasarkan pada gambar 4, peta geologi Lembar Waru – Sumenep [5], daerah penelitian termasuk dari bagian Cekungan Jawa Timur utara. Tataan stratigrafinya dari tua ke muda adalah Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, Formasi Bulu, Formasi Pasean, Formasi Madura, Formasi Pamekasan, dan Aluvium.

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini, tahap pertama yang dilakukan adalah kajian literatur seperti : buku, internet, jurnal dan sebagainya. Tahap kedua yaitu melakukan survei geologi dan morfologi daerah penelitian, merencanakan bentuk lintasan yang akan digunakan. Tahapan selanjutnya adalah pengambilan data. Pengambilan data dibagi menjadi dua bagian. Yang pertama yaitu pengambilan data di laboratorium, meliputi analisa kimiawi batuan fosfat dan pengambilan data resistivitas sampel batuan. Kemudian yang kedua adalah pengambilan data di lapangan. Setelah itu tahap pengolahan data dan tahap terakhir adalah interpretasi data dari hasil yang diperoleh di lapangan. Adapun diagram alirnya sebagai berikut:

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Resistivitas di Laboratorium

Pada proses pengukuran pada sampel batuan, sampel batuan yang telah diambil dari lokasi penelitian (Saronggi, Sumenep) selanjutnya diukur nilai resistivitasnya dan diuji kadar P_2O_5 di laboratorium. Untuk pengukuran nilai resistivitasnya, pengukuran sampel batuan telah dilakukan terhadap 10 sampel batuan yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *Automatic LCR meter Fluke and Philips The T&M Alliance PM 6303*. Hasil pengukuran sampel di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1. Dari hasil pengukuran nilai resistivitas tersebut akan dijadikan dasar untuk interpretasi persebaran fosfat pada pengolahan data lapangan.

Tabel 1.
Hasil Pengukuran Resistivitas Sampel Batuan

No	Kode	A (m ²)	L (m)	R (ohm)	ρ (Ω m)
1	Sampel 1	0,000121	0,015	22410	180,774
2	Sampel 2	0,00013	0,023	62494	353,2269
3	Sampel 3	0,000156	0,022	27578	195,553
4	Sampel 4	0,000224	0,022	9488,6	96,6112
5	Sampel 5	0,00021	0,02	18030	189,315
6	Sampel 6	0,000196	0,023	141772	1208,144
7	Sampel 7	0,00018	0,02	73150	658,35
8	Sampel 8	0,000156	0,023	102918	698,0525
9	Sampel 9	0,00018	0,029	263260	1634,027
10	Sampel 10	0,00021	0,028	227220	1704,15

Tabel 2.
Hasil Uji Kimiawi Kadar P₂O₅ Pada Sampel Batuan

No	Kode	ρ (Ω m)	Kadar P ₂ O ₅ (%)
1	sampel 1	180,774	14,90
2	sampel 2	353,2269	14,40
3	sampel 3	195,553	12,30

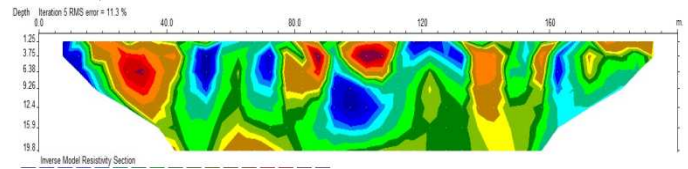
Selanjutnya dilakukan Analisa kimiawi. Analisa ini dilakukan terhadap 3 sampel batuan fosfat yang telah diukur nilai resistivitasnya. Metode yang digunakan adalah spektrofotometer. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kandungan fosfat khususnya P₂O₅ dalam satuan % berat. Kandungan P₂O₅ pada batuan fosfat dapat dilihat pada tabel 2.

Sampel batuan pertama sampai sampel batuan kelima merupakan batuan fosfat sedangkan lima batuan lainnya merupakan batuan selain fosfat (limestone dan lempung pasir), yang nantinya nilai dari resistivitas batuan tersebut digunakan sebagai pembanding dari nilai sampel batuan fosfat yang telah diukur.

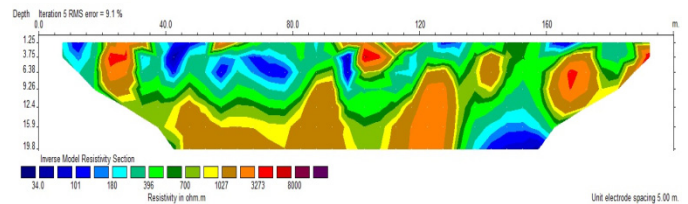
B. Pengolahan Data Lapangan

Setelah dilakukan pengambilan data geolistrik di lapangan menggunakan metode *Wenner-Schlumberger*, selanjutnya data diolah dengan menggunakan *software Res2Dinv* untuk mendapatkan tampilan 2 dimensi kontur resistivitas dari lapisan bawah permukaan tanah. Tampilan 2 dimensi yang dihasilkan terdiri dari 3 kontur isoresistivitas pada penampang kedalaman semu (*Pseudoseph Resistivity*). Penampang pertama adalah *measure apparent resistivity* yang menunjukkan kontur resistivitas semu hasil pengukuran, penampang kedua menunjukkan kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*), dan penampang yang ketiga adalah *inverse model resistivity section* yang menggambarkan kontur resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) setelah melalui permodelan inversi.

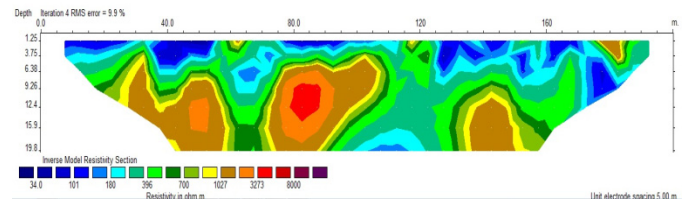
Berikut model kontur resistivitas hasil inversi menggunakan *Res2Dinv* pada tiap-tiap lintasan:



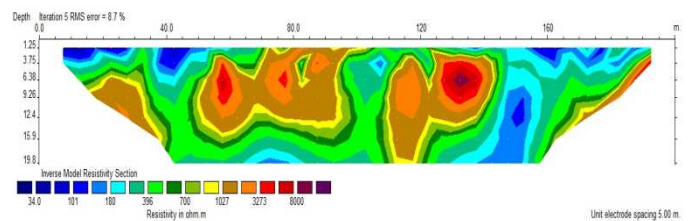
Gambar 6. Pemodelan penampang 2D lintasan 1



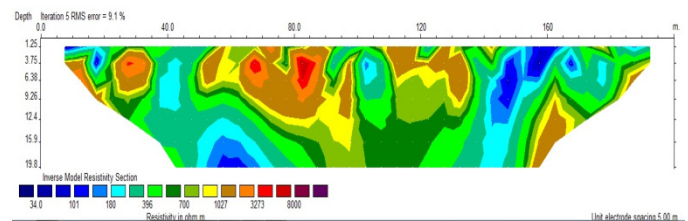
Gambar 7. Pemodelan penampang 2D lintasan 2



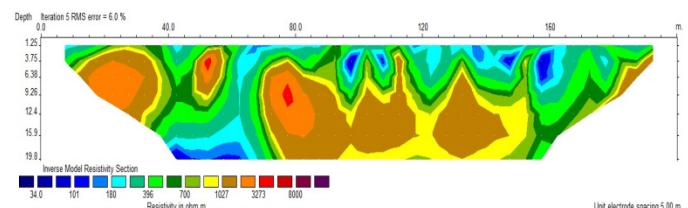
Gambar 8. Pemodelan penampang 2D lintasan 3



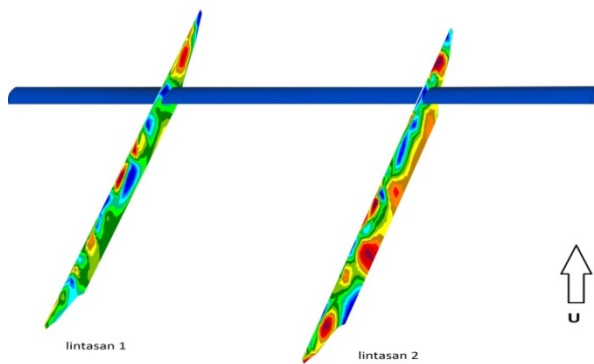
Gambar 9. Pemodelan penampang 2D lintasan 4



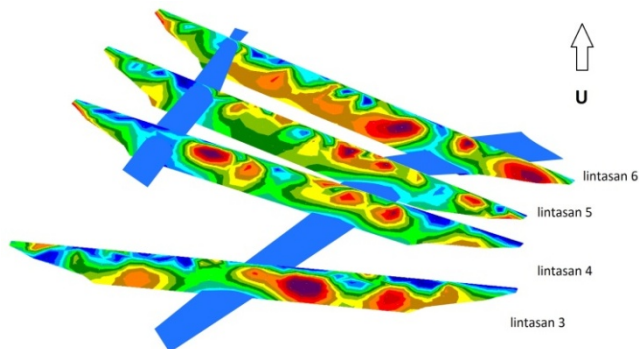
Gambar 10. Pemodelan penampang 2D lintasan 5



Gambar 11. Pemodelan penampang 2D lintasan 6



Gambar 12. Pemodelan penyebaran fosfat pada Petak A.



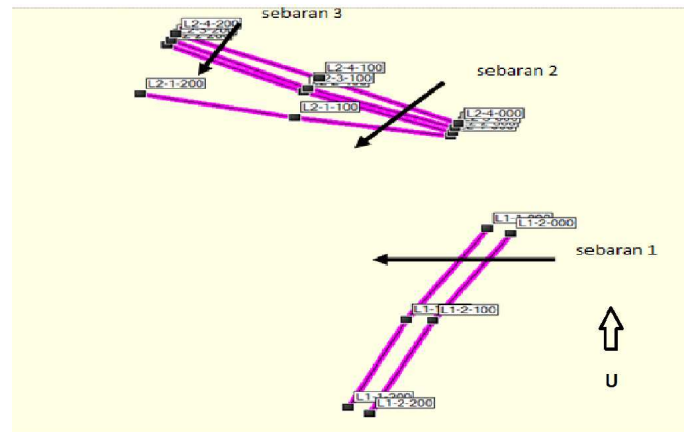
Gambar 13. Pemodelan penyebaran fosfat pada Petak B.

Setelah didapatkan hasil pemodelan pada penampang resistivitas 2D pada masing-masing lintasan (gambar 6 – gambar 11), ditunjukkan bahwa anomali dengan nilai resistivitas rendah mempunyai nilai resistivitas antara $101\Omega\text{m}$ hingga $396\Omega\text{m}$ yang digambarkan dengan warna hijau, biru kehijauan dan biru muda pada model penampang 2D nilai resistivitas. Letak anomali berada pada kedalaman 1,5 hingga 15 meter. Sedangkan anomali dengan nilai resistivitas tinggi, dengan nilai resistivitas antara $1027\Omega\text{m}$ hingga $8000\Omega\text{m}$ yang diinterpretasikan dengan warna coklat dan coklat kemerahan.

C. Pembahasan

Setelah semua data telah didapat, kemudian dilakukan pengolahan data lapangan dengan menggunakan *software Res2Dinv*. Selanjutnya dilakukan interpretasi data untuk menentukan pendugaan sebaran fosfat. Interpretasi ini didasarkan pada karakteristik atau kecenderungan harga resistivitas yang diperoleh dari pemodelan dengan menggunakan *software Res2Dinv* dan nilai resistivitas hasil pengukuran pada sampel batuan fosfat skala laboratorium sebagai acuan. Untuk menunjang interpretasi hasil pengolahan data resistivitas *software Res2Dinv*, harus dilakukan korelasi terhadap hasil pengukuran di laboratorium dan pengukuran resistivitas batuan fosfat di lapangan, serta data-data geologi yang ada.

Berdasarkan pada hasil pengukuran nilai resistivitas di laboratorium pada 5 sampel batuan fosfat yang diambil dari



Gambar 14. Peta sebaran fosfat pada Garmin MapSource

lokasi penenitian, didapatkan nilai resistivitas batuan fosfat antara $96,611\Omega\text{m}$ hingga $353,226\Omega\text{m}$. Hasil tersebut nantinya digunakan sebagai acuan dalam menunjukkan sebaran fosfat pada penampang resistivitas 2D hasil pengukuran di lapangan. Kemudian dilakukan korelasi terhadap hasil pengukuran skala laboratorium dengan hasil pengukuran skala lapangan. Sehingga bisa didapatkan sebaran fosfat di lokasi penelitian. Berdasarkan dari model penampang 2D dari hasil pengolahan data lapangan menggunakan *software Res2Dinv*, menunjukkan bahwa pada nilai resistivitas tersebut (hasil pengukuran di laboratorium) digambarkan dengan warna hijau, biru kehijauan dan biru muda. Dengan letak pada penampang resistivitas 2D berada pada kedalaman 1,5 hingga 15 meter. Sedangkan anomali dengan nilai resistivitas tinggi, dengan nilai resistivitas antara $1027\Omega\text{m}$ hingga $8000\Omega\text{m}$ yang diinterpretasikan dengan warna coklat dan coklat kemerahan. Yang diindikasikan sebagai batu gamping (*limestone*). Berdasarkan pada literatur yang telah ada, nilai resistivitas batu gamping berkisar antara $50\Omega\text{m}$ hingga $4 \times 10^2\Omega\text{m}$ [6].

D. Persebaran Batuan Fosfat

Berdasarkan dari hasil penampang kontur resistivitas tiap-tiap lintasan, kemudian masing-masing penampang dikorelasikan menurut petak lokasi penelitiannya. Petak A meliputi lintasan 1 dan lintasan 2. Sedangkan petak B meliputi lintasan 3, lintasan 4, lintasan 5 dan lintasan 6. Dari pemodelan tersebut diperoleh tiga buah persebaran batuan fosfat pada area penelitian. Satu sebaran di petak A (gambar 12), dan dua sebaran di petak B (gambar 13). Pada petak A terdapat sebuah sebaran yang memotong lintasan 1 dan lintasan 2 dengan arah sebaran ke arah timur. Sedangkan pada petak B terdapat 2 buah sebaran, sebaran pertama memotong lintasan 3, lintasan 4, lintasan 5 dan lintasan 6 dengan arah sebaran ke arah barat daya. Sebaran kedua memotong lintasan 4, lintasan 5 dan lintasan 6 dengan arah sebaran mengarah ke barat daya. Berikut pola sebaran fosfat dapat dilihat dari Garmin map source (Gambar 14).

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data dan pembahasan pada penelitian ini adalah:

1. Harga resistivitas batuan fosfat berdasarkan hasil pengukuran dilaboratorium adalah 96,6112 Ω m hingga 353,2269 Ω m. Hasil ini kemudian dijadikan sebagai acuan dalam menentukan sebaran fosfat pada kontur resistivitas penampang 2D hasil pengukuran di lapangan.
2. Pada area penelitian ditemukan 3 buah sebaran batuan fosfat. Sebaran pertama terletak pada petak A, yang memotong lintasan 1 dan 2 dengan arah sebaran ke barat. Sedangkan sebaran kedua dan ketiga terletak pada petak B. Sebaran kedua memotong lintasan 3, lintasan 4, lintasan 5 dan lintasan 6, dan sebaran ketiga memotong lintasan 4, lintasan 5 dan lintasan 6 dengan arah sebaran (sebaran 2 dan 3) ke barat daya.
3. Berdasarkan hasil analisa kimiawi pada 3 sampel batuan fosfat, diketahui nilai kandungan P_2O_5 masing-masing sampel adalah sebesar 14,90%; 14,40% dan 12,30%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kedua orang tua, dosen pembimbing Dr.A.Syaeful Bahri, S.Si, MT, Bapak Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si, dan teman-teman yang telah membantu penelitian ini. Terima kasih kepada Geoadvance dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas fasilitas yang telah ada. Terima kasih juga kepada orang-orang yang telah mendukung penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Lingga, Hakim. "Petunjuk Penggunaan Pupuk. Penebar Swadaya", Jakarta, (1986).
- [2] M. Sedyarso, "Fosfat Alam sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat", Bogor, (1999).
- [3] Adiningsih, S. Rochayati, M. Sedyarso, dan A. Kasno. "Prospek Penggunaan Pupuk Fosfat Alam untuk Budidaya Pertanian Tanaman Pangan". disajikan dalam Seminar, (1997).
- [4] M.B. Dobrin, "Introduction to Geophysical Prospecting", New York: McGraw-Hill, (1981).
- [5] R. L. Situmorang, D.A. Agustianto, dan M. Suparman, Geologi Lembar Waru Sumenep, Skala 1:1.00.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, (1992).
- [6] M.H. Loke and R. D. Barker, *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosection by A Quasi-Newton Method*, Geophysical Prospecting, 44, (1996) 131-152.